



# Teilabschlussbericht

## Kenntnisstand zur Fermentation von Futtermittel für die Schweineproduktion

(Literaturrecherche und Stand der praktischen Anwendung)

Projekt-Nr.: 95.10.530

Langtitel:	Kenntnisstand zur Fermentation von Futtermittel für die Schweineproduktion
Kurztitel:	Schweinefutterfermentation/ Literaturstudie
Projekt:	Wirtschaftliche Mastschweinefütterung
Projektleiter:	Dr. Arnd Heinze
Abteilung:	500
Abteilungsleiter:	PD. Dr. Hans Hochberg
Laufzeit:	04/2010 bis 11/2011
Auftraggeber:	Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz
Namen der Bearbeiter:	Dr. Arnd Heinze Katrín Rau

Jena, im November 2011

Dr. Armin Vetter  
Stellv. Präsident

Dr. Arnd Heinze  
Projektleiter

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
1 Einleitung	4
2 Grundlagen der Futterfermentierung	4
2.1 Mikrobielle Flora und Einflussnahme auf Futterfermentierung	4
2.2 Geeignete Mikroorganismen für Flüssigfutterfermentation	6
2.3 Substrateinfluss	8
2.4 Verfahrenstechnische Einflussfaktoren (Temperatur, Zeitdauer)	10
3. Effekte der Futterfermentierung am Tier	11
3.1 Einfluss auf die Nährstoffverwertung	11
3.2 Einfluss auf die Tiergesundheit	13
3.3 Tierische Leistungen	14
4 Stand bei der praktischen Umsetzung	15
4.1 Regionale und überregionale Anwendung	15
4.2 Prozessabläufe	16
4.3 Wirtschaftliche Verfahrensbewertung	17
5 Zusammenfassung	18
6 Schlussfolgerung	19
7 Literaturverzeichnis	20

## 1. Einleitung

Fermentation oder Fermentierung (lat. *fermentum* „Gärung“) bezeichnet die Umsetzung von biologischen Substraten mit Hilfe von Bakterien-, Pilz- oder Zellkulturen, aber auch durch den Zusatz von Enzymen (Fermenten). Technische Ausrüstungen, in denen diese Prozesse ablaufen, werden als Fermenter bezeichnet. Die bei diesen biotechnologischen Prozessen entstehenden Fermentationsprodukte umfassen eine breite Erzeugnispalette. Sie reicht vom Bioethanol bzw. Biomethanol über Aminosäuren, Antibiotika, Hefen bis zu Enzymen.

Ursprünglich wurde mit „Fermentation“ eine biologische Reaktion unter Ausschluss von Luft bezeichnet (« Fermentation, c'est la vie sans l'air » (PASTEUR)). Diese Voraussetzung ist die Grundlage für das Wirken anaerober Mikroorganismen zur Substratkonservierung oder Synthese neuer Produkte.

In der Landwirtschaft wird die Fermentation vorwiegend für die Konservierung, die Hygienisierung und die Verbesserung der Verdaulichkeit von Futtermitteln genutzt. Die bekannteste Form der Fermentierung von Futter ist das Silieren von Grobfuttermitteln und Hackfrüchten. Dabei wird im Siliergut eine verstärkte Milchsäurebildung angestrebt, um es anzusäuern und dadurch zu konservieren. Zugleich sollen Schadkeime, insbesondere Hefen, unterdrückt und an ihrer Vermehrung gehindert werden (SOMMER, 2003). In den letzten Jahren rückt eine weitere Anwendung der Futterfermentierung in den Focus speziell von Schweineproduzenten. Hierbei soll ein mikrobieller Aufschluss der Futterkomponenten zur Verbesserung der Verdaulichkeit und damit der Erhöhung des Futterwertes erfolgen. Diese Form der Futterfermentierung erfordert hohe Feuchteanteile und setzt damit die Flüssigfütterung voraus.

In Deutschland werden derzeit etwa 35 Mio. Schweine jährlich gemästet, darunter schätzungsweise 10 Mio. mit flüssigem Futter (Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2009). Zum Umfang der ebenfalls praktizierten Flüssigfütterung in der Sauenhaltung und der Ferkelaufzucht als weitere potentielle Einsatzbereiche von fermentierten Futtermischungen liegen jedoch keine Angaben vor. Erste Ergebnisse zur Herstellung und zum Einsatz von fermentierten Schweinefuttern liegen aus Dänemark vor. Dabei berichten die Anwender in der Ferkelproduktion von einer verbesserten Tier- insbesondere Darmgesundheit und in der Schweinemast u. a. von einer Senkung der Futterkosten und verbesserter Tiergesundheit (NIGGEMEYER, 2006).

Da die Futterökonomie bedingt durch längerfristig hohe Futterpreise entscheidend die Wirtschaftlichkeit dieses Produktionszweiges beeinflusst und auch die Tiergesundheit einen großen Einfluss auf den Produktionserfolg ausübt, ist es angebracht, den vorliegenden Kenntnisstand zu diesem neuen Futteraufbereitungsverfahren zu recherchieren. Weiterhin wären Anforderungen für eine fachliche Bearbeitung sowie deren inhaltlichen Ansätze abzuleiten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Flüssigfutterfermentation (FFF) einen komplexen Prozess darstellt, der von zahlreichen Faktoren, wie der Zeitdauer, der Temperatur, dem Substrat sowie der Menge und dem Typ der Mikroorganismen abhängig ist (SCHOLTEN, 2001; LYBERG u. a., 2008).

## 2. Grundlagen der Futterfermentierung

### 2.1 Mikrobielle Flora und Einflussnahme auf Futterfermentierung

Mikroorganismen sind mehrheitlich einzellige Kleinlebewesen, von denen wichtige Vertreter die Bakterien, Pilze, Hefen und Protozoen sind. Sie besitzen überwiegend einen echten Zellkern und sind für ihren Stoffwechsel auf organische Kohlenstoff-

quellen angewiesen. Neben der Syntheseleistung benötigen sie auch Nährstoffe für ihre Erhaltung und Vermehrung (ADLER, 2002). Je nach Keimgruppe zeichnen sie sich meist durch spezifische Wirkungsweisen aus. So sind die Bakterien und Protozoen wesentlich an der Verdauung der Nährstoffe beteiligt. Zugleich können sie auch außerhalb des Verdauungstraktes zum Nährstoffabbau führen, was insbesondere unter aeroben Bedingungen mit Nährstoffverlust und Futterverderb einhergeht. Gelingt es, wie bei der Silierung, anaerobe Voraussetzungen zu schaffen, so kommt es zu einer starken Vermehrung der Milchsäurebakterien (MSB). Verbunden mit ihrer Milchsäureproduktion ist eine deutliche Absenkung des pH-Wertes, was bei der Silierung zur Hemmung von unerwünschten Keimen und schädlichen Fermentationsprozessen führt (ADLER, 2002). Milchsäure (Lactic acid) wird von vielen Bakterienarten produziert, hauptsächlich von den Gattungen *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Streptococcus*, *Pediococcus* und *Leuconostoc* (PARTANEN u. MROZ, 1999).

Die Bakterien werden im Zusammenhang mit dem Glucoseabbau in homo- oder heterofermentative Stämme unterschieden. Erstere bauen Glucose überwiegend zu Milchzucker (Lactat) (80 – 90 %) ab, wogegen bei heterofermentativen Stämmen der Substratabbau neben Lactat auch in beträchtlichem Umfang zu anderen Gärprodukten, wie Essigsäure, Ethanol, CO<sub>2</sub> führt (KNABE u. a., 1986). Homofermentative MSB sind Anaerobier, die sich aber auch bei geringen Sauerstoffkonzentrationen entwickeln können. Neben Milchzucker wird in begrenztem Umfang Essigsäure und CO<sub>2</sub>, aber nicht Ethanol gebildet. Die MSB benötigen für ihren Zellstoffwechsel nur sehr geringe Mengen an Kohlenhydraten, sie haben dazu jedoch einen Bedarf an Aminosäuren, Vitaminen und bestimmten Mineralstoffen. Nach KNABE u. a. (1986) sowie SNEATH u. a. (1986) lassen sich den homofermentativen MSB Organismen aus den Gattungen *Lactobacillus*, *Streptococcus* und *Pediococcus* zuordnen. Zu den heterofermentativen MSB gehören weitere Species von *Lactobacillus* und Organismen aus der Gattung *Leuconostoc*.

Bekannteste Vertreter der großen Gruppe der Pilze sind die Schimmelpilze mit ihrer oftmals charakteristischen Mykotoxinbildung. Die Hefen, taxonomisch dem Reich der Pilze zugeordnet, stellen bei der mikrobiologischen Untersuchung eine getrennt erfasste Keimgruppe dar (BUCHER u. THALMANN, 2006). Herkunftsseitig lassen sie sich in Wildtyphefen und selektiv bearbeitete Hefespezies, deren typischster Vertreter *Saccharomyces cerevisiae* ist, differenzieren. Dieser kommerziell genutzte Hefestamm hat je nach Spezies die Fähigkeit zur alkoholischen Vergärung oder zur Backgärung. Eine wichtige Erkenntnis für die Tierfütterung ist, dass Hefen ihren Stoffwechsel sowohl auf anaerobe als auch aerobe Verhältnisse ausrichten können. Bei der anaeroben Gärung wird Zucker zu niedermolekularen Verbindungen wie Ethanol und Kohlendioxid abgebaut. Bei Sauerstoffzutritt findet dagegen ein oxydativer Kohlenhydratabbau statt, in dessen Ergebnis niedermolekulare Zucker wie Glucose zu Kohlendioxid und Wasser umgesetzt werden, wobei der Stoffumsatz mit einem deutlichen Anstieg der Vermehrungsrate der Hefezellen einhergeht. Hefen sind säuretolerant und werden bei der Silierung als Hauptverursacher des Verderbs angesehen (ADLER, 2002). Von KRAMER (2010) wird darauf verwiesen, dass bei der Silierung durch Luftzutritt Hefen nicht nur den vorhandenen Pflanzenzucker, sondern auch die gebildeten Gärsäuren veratmen und so zum Wegbereiter für einsetzende Schimmelbildung werden. Aus der Flüssigfütterung von Schweinen ist weiterhin bekannt, dass mit erhöhter Hefekonzentration die Gasbildung ansteigt, was die Futteraufnahme reduziert, Nervosität und Aggressivität steigert und zum Tode führen kann (NAGEL, 2004).

Die Futtermittel weisen je nach Art, Lagerung und Hygienestatus eine unterschiedliche Besiedlung mit Mikroorganismen auf. Neben den bereits angeführten Keimgruppen sind die Darmbakterien (Enterobacteriaceae) eine weitere wichtige den Nährstoffgehalt und die Futterqualität beeinflussende Kategorie. Diese mehrheitlich im Verdauungstrakt angesiedelten Bakterien kommen auch im Erdboden vor und gelangen über Verunreinigungen in die verabreichten Futtermittel. Sie können eine Vielzahl von Futterinhaltsstoffen gut verwerten, wobei aus der Proteinverwertung eine Reihe schädlicher Stoffwechselprodukte wie Ammoniak oder Schwefelwasserstoff entstehen (NAGEL, 2001). Deshalb sind höhere Konzentrationen im Flüssigfutter als nachteilig anzusehen.

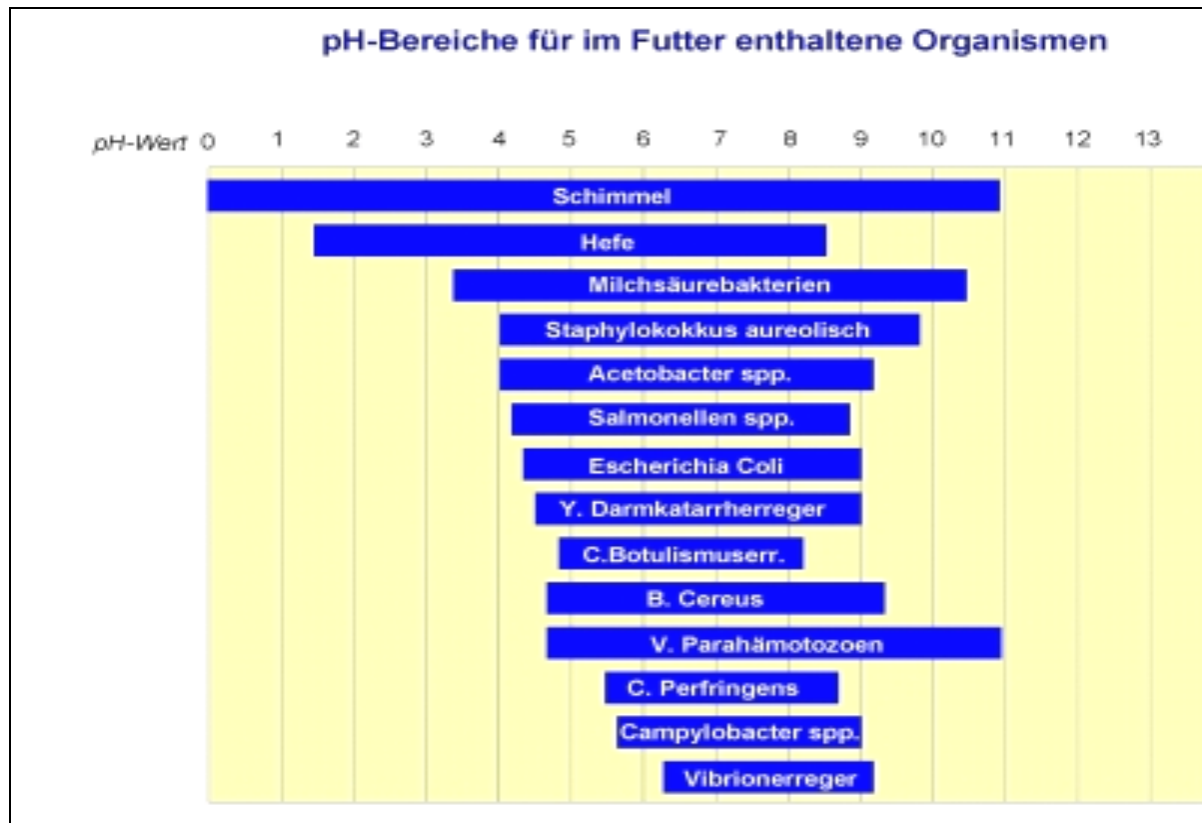
Mit dem verfahrenstechnisch und in der Rationsgestaltung vorteilhaften Einsatz von Flüssigfutter steigt jedoch auch das Risiko in der Futterhygiene. Dieses begründet sich nicht allein aus der vielfältigen Nutzung von Verarbeitungsnebenprodukten mit niedrigen Trockensubstanzen, sondern auch durch die Schadkeimbesiedlung in der Fütterungseinrichtung (MEYER, 2009). Um diese Problematik besser zu beherrschen und die Besiedlung mit schädigenden Keimen zu begrenzen werden üblicherweise Fütterungssäuren, vorzugsweise Ameisen- oder Propionsäure zugesetzt (NAGEL, 2001). Zugleich ist durch Reinigungsmaßnahmen der Keimbesatz in der Fütterungsanlage zu verringern. Da dabei der Kosten- und Zeitaufwand beträchtlich sind, wurden in den vergangenen Jahren auch erste Schritte zur fermentativen Aufbereitung von Flüssigfutter unternommen, so dass sowohl aus der wissenschaftlichen Bearbeitung als auch aus Berichten zur praktischen Umsetzung Ergebnisse vorliegen (SCHOLTEN, 2001; LYBERG u. a., 2006; NIGGEMEYER, 2006; STALLJOHANN, 2006; CANIBE u. a., 2007; SHOLLY u. a., 2011).

## **2.2 Geeignete Mikroorganismen für Flüssigfutterfermentation**

Mit der Fermentation von flüssigem Schweinefutter werden nachstehende drei Zielstellungen verfolgt:

- die Konservierung des Futterbreis
- die Hygienisierung des Futterbreis
- der Aufschluss der Nährstoffe.

Aus den Ausführungen unter Punkt 2.1 wird deutlich, dass als Mikroorganismen grundsätzlich nur MSB dieser Aufgabenstellung gerecht werden und zum Einsatz kommen können. Sie besitzen einerseits die Fähigkeit bei geeigneten Bedingungen schnell und in großem Umfang Lactat zu bilden, was die Absenkung des pH-Wertes in einen Bereich von durchschnittlich 3,5 ermöglicht (SCHOLTEN, 2001). Nach BROOKS (2009) bietet sich so die Möglichkeit, dass mittels Fermentierungsprozess die mikrobielle Zusammensetzung des Futterbreis im positiven Sinne beeinflusst wird. Denn die Lebensfähigkeit der verschiedenen Mikroorganismen ist an spezifische pH-Bereiche gebunden, wobei für darmschädigende Bakterien wie z. B. *Escherichia coli*, Werte über „4“ Voraussetzung zum Überleben sind (Abbildung 1). Allein Hefen und Schimmelpilze sind noch pH-Wert toleranter als MSB und stellen mit ihren Schadwirkungen selbst bei erfolgreicher Fermentierung eine Risikoquelle in der Futterqualität dar. Nach GIARDINI und VIGEZZI (2005) könnte der Einsatz einzelner MSB-Stämme der Arten *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus coryniformis* und *Pediococcus pentosaceus* diesbezüglich vorteilhaft sein, da sie die Fähigkeit besitzen, Schimmelpilze in ihrer Entwicklung zu hemmen.



**Abbildung 1:** pH-Bereiche für die Überlebensfähigkeit der im Futter enthaltenen Organismen (BROOKS, 2009)

Hinsichtlich ihrer Abbauleistung zu Milchsäure arbeiten die homofermentativen MSB-Stämme sehr effektiv, wogegen bei heterofermentative nicht nur weniger Milchsäure gebildet wird, sondern die auch erzeugte Essigsäure in der energetischen Verwertung ungünstiger ist als Milchsäure und ebenfalls wie Ethanol durch Geschmacksbeeinflussung zu Nachteilen in der Futteraufnahme führen kann. Das außerdem freigesetzte  $\text{CO}_2$  geht durch Veratmung energetisch verloren (SCHOLTEN, 2001).

Futtermittel sind in einem unverarbeiteten Zustand mit einer produkttypischen Keimflora ausgestattet. Deshalb ging die Mehrzahl der Versuchsansteller davon aus, dass bei ihren Untersuchungen allein mit den eingesetzten Futtermitteln (Getreide bzw. Nebenprodukte) der erforderliche und für die Fermentation charakteristische Bakterienbesatz bereits vorlag (SCHOLTEN, 2001; LYBERG u. a., 2006; CANIBE u. a., 2007; SHOLLY u. a., 2011). Zur Absicherung einer ausreichenden MSB-Aktivität erfolgte eine mehrtägige Futtervergärung. Gegenüber diesem Untersuchungsansatz, der aus fachlicher Sicht einer „unkontrollierten“ Fermentation entspricht, hat sich resultierend aus negativen Erfahrungen bei der praktischen Anwendung in Dänemark eine andere Auffassung durchgesetzt. Da nur mit der gezielten Zugabe von ausgewählten MSB-Stämmen der Gärprozess planmäßig ablaufen kann, lassen sich nur mittels dieser „kontrollierten“ Fermentation dauerhaft erfolgversprechende Effekte absichern. Dazu durchläuft die gezielt beimpfte Käsemolke einen primären Fermentationsprozess und wird dann als Ausgangssubstrat dem Landwirt für die eigentliche Fermentation der Futterration zur Verfügung gestellt. Bei einem solchen von der niederländischen Firmengruppe Hendrix-Ilesch angebotenen Molkeprodukt liegen den Käufern jedoch keine Angaben über die zugesetzten MSB vor (FRITSCHKE, 2011). Nach PECHER (2011) erweist sich für eine kontrollierte Fermentation der gleichzeitige Einsatz verschiedener MSB-Stämme vorteilhafter, da sie sich in ihrer Wirkung

ergänzen. So sind in dem MSB-Ausgangsprodukt „Schaumalac Feed Projekt“ zwei Stämme der Gattung *Lactobacillus* und ein Stamm der Gattung *Pediococcus* enthalten (KRAMER und PECHER, 2011). Bei der Silierung gilt die homofermentative Art *Lactobacillus plantarum* als die am besten geeignete Starterkultur, um die Lactatbildung schnell in Gang zu setzen (GIARDINI u. VIGEZZI, 2005). Bei herkömmlich (unkontrolliert) fermentiertem Getreide konnte derselbe MSB-Stamm isoliert werden. Charakteristisch war weiterhin das Auftreten von *Pediococcus pentosaceus* (NCHE u. a., 1994).

Das MSB nicht generell nur verdauungsphysiologisch günstige Wirkungen erzielen, geht aus den Hinweisen von MEYER (2009) zur Flüssigfütterung hervor. Je nach Art der MSB-Flora können auch ungünstige Stoffwechselprodukte, wie solche/ Produkte aus dem Abbau von Aminosäuren, entstehen. Deshalb ist die Auswahl von geeigneten MSB-Stämmen die Grundvoraussetzung für einen erfolgreich verlaufenden Fermentationsprozess. Eine Beschränkung allein auf die sehr begrenzte Anzahl der anerkannten probiotisch wirkenden Futterzusatzstoffe nach Richtlinie 70/524/EWG und Verordnung EG 1831/2003 wäre offensichtlich nicht ausreichend. Dies auch deshalb, weil diese als Futterzusätze geprüften und zugelassenen Mikroorganismen ihre Wirkung erst im Verdauungstrakt der Schweine entfalten und dort auf ein anderes Keim- und Substratmilieu als bei einem Zusatz zum Flüssigfutter treffen (SCHOLTEN, 2001).

## **2.3 Substrateinfluss**

Prinzipiell stehen als Futtermittel fertige Mischfutter oder Einzelkomponenten zur Verfügung, die über eine Fermentierung aufgeschlossen werden könnten. Als typische Einzelfuttermittel kommen in der Schweinefütterung verschiedene Getreidearten mit ihren charakteristisch hohen Stärke- aber auch sehr niedrigen Zuckergehalten, eiweißreiche Komponenten mit hohen Rohprotein- jedoch nur mäßigen Kohlenhydratgehalten und speziell für die Flüssigfütterung zahlreiche Nebenprodukte mit sehr produktbezogenen Inhaltsstoffen zum Einsatz (Übersicht). Fettreiche Futtermittel spielen eine untergeordnete Rolle.

Die Kohlenhydrate sind die wichtigsten Energielieferanten in der Schweinefütterung. Neben leicht verdaulichen Kohlenhydraten (Stärke, Saccharose) weisen jedoch insbesondere einige Nebenprodukte der Verarbeitungsindustrie erhöhte Anteile an Nichtstärke-Polysacchariden (NSP) wie Cellulose, Pentosane,  $\beta$ -Glucan, oder Pektine auf. Diese lassen sich vom Schwein im Dünndarm nicht enzymatisch verdauen und nur mit zunehmendem Alter durch einen mikrobiellen Aufschluss im Dickdarm (Colon) noch als kurzkettige Fettsäuren unter Energieverlust teilweise verwerten (JERROCH u. a., 1999). Aber auch das Getreide als Hauptfutterkomponente weist in seiner Zusammensetzung Hemicellulosen (Pentosane,  $\beta$ -Glucan, oder Pektine) auf. Bei Gerste und Weizen setzen sich diese Polysaccharide vorwiegend aus Hexosanen zusammen (KIRCHGESSNER u. a., 2008; BACH KNUDSEN, 2011).



Übersicht: Inhaltsstoffe/kg Trockenmasse von Futtermitteln für Schweine (JEROCH u. a., 1993)

Futtermittel	Trocken- masse g	Energie ME <sub>Schwein</sub> MJ	Stärke g	Zucker g	Roh- faser g	NSP <sup>1)</sup> g
Wintergerste	880	14,35	600	26	57	135 - 172
Winterweizen	880	15,67	675	32	29	75 - 106
Winterroggen	880	15,29	646	63	28	107 - 128
Triticale	880	15,46	667	40	30	74 - 103
Sojaextraktionsschrot, ungeschälte Saat	880	14,82	73	105	65	180 - 227
Weizenkleie	880	9,47	156	65	134	220 - 337
Sauermolke	64	13,69	0	600	0	0
Biertreber, frisch	240	9,18	49	12	183	k. A.

1) Lindermayer u. Propstmeier, 2009

Unterschiede der Futtermittel in den Nährstoffgehalten und im Säurestatus beeinflussen den Fermentationsverlauf und die Nährstoffumsetzung. So verfolgte SCHOLTEN (2001) die Veränderungen während einer sechstägigen Fermentation ohne gezielten MSB-Zusatz bei drei flüssigen Nebenprodukten (Weizenstärke, Kartoffeldampfschalen, Molke) und jeweils einer mit Wasser versetzten Vor- bzw. Endmastmischung. Wesentliche Abweichungen von den Ausgangsgehalten traten bei den erfassten Inhaltsstoffen der Kohlenhydratfraktion auf, wogegen die Rohprotein- und Rohfett- sowie die Energiegehalte kaum Veränderungen aufwiesen. Selbst nach Fermentation der beiden nährstoffseitig ähnlichen Fertigmischungen kam es bei den angestiegenen Gehalten an löslicher Stärke und den Gehalten an organischen Säuren einschließlich Ethanol doch zu beträchtlichen Abweichungen. Da die Vergärung hier allein auf dem mikrobiellen Ausgangsbesatz der einzelnen Futtermittel beruhte, könnte dies das Fermentationsergebnis jedoch auch beeinflusst haben.

Von Interesse für die praktische Durchführung der Fermentation sind auch die Ergebnisse von CANIBE u. a. (2007). Beim Vergleich der alleinigen Vergärung der Getreidefraktion einer Futtermischung gegenüber der fermentierten Gesamtmischung lag der Besatz mit Hefen und als Konsequenz der Ethanolgehalt im fermentierten Getreide und auch in der daraus hergestellten Gesamtmischung höher sowie der Milchsäuregehalt niedriger als in der vergärten Komplettmischung. Übereinstimmend für beide Varianten war bei gleichwertigem Gehalt an NSP dessen Abbau gegenüber der rohstoffgleichen, aber nicht fermentierten Trockenfütterration. Die Konzentration von biogenen Aminen als Abbauprodukte von freien Aminosäuren übertraf bei der fermentierten Gesamtmischung deutlich die Werte der Mischung mit alleiniger Getreidefermentation und insbesondere die der Trockenmischung. Die Autoren bewerten deshalb die fraktionierte Fermentation lediglich der Getreidekomponenten als vorteilhaft, da die mikrobielle Decarboxylierung der freien Aminosäuren vermieden und so das Futter schmackhafter bleibt, denn die Verfütterung der fermentierten Gesamtmischung führte im Fütterungsversuch mit Absetzferkeln zur schlechteren Futterauf- und Tageszunahme.

Ein Abbau der Gesamt-NSP-Fraktion bei der Fermentation von Gerste oder Weizen zeigte sich auch in den Untersuchungen von SCHOLLY u. a. (2011) gegenüber dem nicht vergärem Getreide für beide Komponenten. Zugleich resultierten aus den mikrobiellen Umsetzungen deutlich niedrigere Zucker- und auch abgesichert höhere Protein- und Fettgehalte. Unter Einbeziehung dieser beiden Getreidevarianten erfolg-

ten Verdauungsversuche an Mastschweinen mit Dünndarmfistelierung. Dabei traten teilweise unterschiedliche Effekte zwischen den Getreidearten auf. Abgeleitet wird, dass durch die Fermentation die Zusammensetzung der verdaulichen Nährstoffe, der Digestafluss sowie die Zusammensetzung der Polysaccharide und weiterer Makronährstoffe im Ileum und im Kot bei Gerste deutlicher als bei Weizen beeinflusst werden. Für beide Getreide wurde durch die Fermentation die Rohproteinverdaulichkeit verbessert, jedoch von Gerste mehr als von Weizen. Zugleich wird herausgestellt, dass im Ergebnis des Fermentationsprozesses der Stärkegehalt im Getreide gleich bleibt, aber zugleich durch Quellvorgänge sich die Aufspaltung durch  $\alpha$ -Amylase im Dünndarm verbessert. Die Stärkeverdaulichkeit bei fermentierter Gerstenration stieg gegenüber der unfermentierten Mischung deutlicher als bei einer entsprechend auf Weizen basierenden Ration an. Bei Getreidemischungen übte auch die zur Verflüssigung eingesetzte Komponente (Molke, Weizenschlempe oder Wasser) einen signifikanten Einfluss auf die MSB-Vermehrung und die Konzentration unerwünschter Keime aus (LYBERG u. a., 2008).

Nicht immer bewirkt ein Zusatz von MSB zu Feuchtfutter einen Fermentationseffekt. Am Beispiel von mehrmonatig einsilierten CCM (75 % Trockenmasse) wurde aufgezeigt, dass der separate oder auch kombinierte Zusatz von *Lactobacillus acidophilus* und *Bacillus subtilis* zu keinem weiteren Anstieg in der Milchsäurebildung führte. Dies traf auch auf die Essig- und Propionsäure- sowie Ethanolbildung zu (NIVEN u. a., 2007).

Die hygienische Unbedenklichkeit der Ausgangskomponenten ist eine entscheidende Voraussetzung für den ungestörten Verlauf des Fermentationsprozesses. Nur so kann der Eintrag von Schadkeimen begrenzt und damit ihre Vermehrung sowie der Substratabbau in unerwünschte Stoffwechselprodukte vermieden werden. Ausgehend von der großen Säuretoleranz trifft dies besonders auf Hefen und Schimmelpilze zu. Risikofuttermittel für den Hefeeintrag sind vor allem CCM und Molken. Obwohl GIARDINI u. VIGEZZI (2005) darauf verweisen, dass es erste Erfolge bei der Isolierung von MSB-Stämmen mit fungizider Wirkung gibt, sind derartige Effekte perspektivisch für den Pflanzenbau aber nicht für den kurzzeitigen Vergärungsprozess nutzbar. Inwieweit Getreidepartien mit einem leicht erhöhten Mykotoxingehalt durch eine Fermentierung besser verwertet werden können, bedarf nach STALLJOHANN (2006) noch weiterer Untersuchungen.

## **2.4 Verfahrenstechnische Einflussfaktoren (Temperatur, Zeitdauer)**

Für die erfolgreiche Herstellung von Fermentat sind neben den eingesetzten Bakterienkulturen die Prozesstemperatur und die Zeitdauer der Vergärung wichtige Stellgrößen. Je schneller und umfangreicher die Milchsäurebildung ausgelöst wird, umso zügiger kommt es zur Absenkung des pH-Wertes und umso geringer ist der Besatz mit unerwünschten Keimen und deren Nährstoffabbau. In den mehrfaktoriellen Untersuchungen von LYBERG u. a. (2008) mit einer mindestens fünftägig unter Wasser-, Molke- bzw. Schlempezusatz und bei 10, 15 oder 20°C fermentierten Getreidemischung ergaben sich deutliche temperatur- und substratbezogene Einflüsse auf den pH-Wert und z. T. Einflüsse auf den mikrobiellen Besatz. Bei pH-Ausgangswerten entsprechend vorangehender Reihenfolge der Flüssigkomponenten von 6,3; 5,1 und 3,9 wurde zum 5. Fermentationstag ein Wert von pH = 4,0 mit Ausnahme der Kombination Wasser bei 10°C erzielt. Danach blieb der Säurestatus relativ konstant. In Zeitabständen von 12 bzw. 24 Stunden analysierten SCHOLTEN u. a. (2001) die Veränderungen des pH-Wertes sowie von zahlreichen Inhaltsstoffen.

Die Fermentation erfolgte ohne gezielten MSB-Zusatz mit 23°C bei drei flüssigen Nebenprodukten sowie zwei verflüssigten Schweinemastfertigfuttern. Die pH- Ausgangswerte der Mischfutter lagen im Bereich von 5,6 – 5,7 und die der Nebenprodukte zwischen 3,6 bis 4,4. Nach 144 Stunden Fermentationsdauer lagen alle Werte unter pH = 4,0, die der Mischfutter bei 3,8 bzw. 3,9. Während bei diesen Futtern erst nach 24 Stunden die Abnahme des pH-Wertes einsetzte, die dann zwischen 36 und 48 Stunden am deutlichsten war, ergaben sich für die drei Nebenprodukte andere Verläufe mit noch niedrigeren Endwerten. Die Veränderungen folgten damit den ebenfalls analysierten Milchsäuregehalten. Hier wiesen die beiden Flüssigfertigfutter bei einem Trockensubstanzgehalt von rund 25 % zum Fermentationsstart 0,47 bzw. 0,61 g Lactat/kg Originalsubstanz auf. Nach der sechstägigen Vergärung lagen die Werte hochsignifikant darüber und der im Vormastfutter mit 30,76 g zugleich über dem des Endmastfutters mit 22,41 g/kg. Von STALLJOHANN (2006) wird zur Absicherung einer ausreichenden Milchsäurekonzentration im FFF ein Wert von 200 bis 300 mmol und eine nicht zu überschreitende Essig- bzw. Buttersäurekonzentration von 20 mmol je kg Fließfutter gefordert. Voraussetzung dafür ist die pH- Wertabsenkung unter 4 innerhalb von 12 Stunden ab Fermentationsstart.

Zur Fixierung einer anzustrebenden optimalen Fermentationstemperatur liegen kaum wissenschaftliche Untersuchungsergebnisse vor. Mehrheitlich erfolgte die Vergärung im Bereich von 20 bis 25°C. Laboruntersuchungen von BLAISCHER und KLIMITSCH (2005) verdeutlichen jedoch, dass bei einer Temperatur von 37°C ein schnellerer pH-Wertabfall, eine höhere Vermehrungsquote der geimpften Lactobacillenstämmen und eine eindeutige Verbesserung der mikrobiologischen Qualität im Fermentat im Vergleich mit 20°C eintraten. Auch die bisher vorliegenden Anwendungsempfehlungen vermitteln kein einheitliches Bild. So werden ausgehend von Erfahrungen in Dänemark 20°C als Idealtemperatur angesehen (NIGGEMEYER, 2002). Beim Einsatz der am Markt vertriebenen vorfermentierten Molke sollten mindestens 20 bis 25°C für den zweiten Fermentationsschritt abgesichert sein. Von STALLJOHANN (2007) werden 25 ± 2°C empfohlen, wogegen PECHER (2011) eine Temperatur von 30 bis 40°C als Vorzugsbereich angibt. Da die Fermentationstemperatur als wichtige Stellgröße für die Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen anzusehen ist, wird zur Absicherung dieser Zieltemperaturen bei einer ganzjährig kontinuierlichen Vergärung eine Substraterwärmung erforderlich. Aus Sicht der Verfahrenskosten ist dabei der abzusichernde Temperaturbereich von großer Bedeutung.

### **3 Effekte der Futterfermentierung am Tier**

#### **3.1 Nährstoffverwertung**

Der Einsatz von fermentierten Futter wird u. a. mit einer besseren Verdauung und effektiveren Futtermittelverwertung (LINBEC, 2011), einem besseren Aufschluss der Nährstoffe Phosphor, Stärke, Protein (PECHER [Schaumanngruppe], 2011) bzw. einer „Erhöhung der Protein- und Phosphorverfügbarkeit, so dass 15-20 % weniger Protein verfüttert werden muss“ (HENDRIX ILLESCH, 2011) beworben. Diese für die Futterökonomie wichtigen Effekte lassen sich jedoch nicht so eindeutig aus den vorliegenden Publikationen ableiten, zumal nur eine sehr geringe Anzahl von Versuchsanstellern sich diesen z. T. sehr aufwendigen Untersuchungen stellte. Methodisch basierte dabei die Futtervergärung fast ausschließlich auf einer unkontrollierten Fermentation. Die Bewertung zum Nähr- und Mineralstoffaufschluss erfolgte mittels Verdauungsversuchen, wobei neben der klassischen Verdaulichkeit auch die Dünndarmverdaulichkeit ermittelt wurde.

Fermentierte auf Gersten- oder Weizenbasis hergestellte Fertigfutter wiesen eine teils gleichgerichtete oder andererseits eine abweichende Verdaulichkeit wichtiger Nährstoffe gegenüber nährstoffgleichen nicht fermentierten Trockenfutterrationen auf (SCHOLLY u. a., 2011). Dabei waren die positiv zu bewerteten Effekte bei der rohfasereicheren und damit schlechter verdaulichen Gerstenration deutlicher ausgeprägt als beim alternativen Einsatz von Weizen. Wichtige Ergebnisse des Fermentationsinflusses auf die scheinbare Verdaulichkeit sind:

- Verbesserung für organische Substanz nur bei Gerste
- Verbesserung für Protein bei beiden Getreidearten
- Verbesserung für Fett bei beiden Getreidearten
- kein Einfluss für Kohlenhydrate
- kein Einfluss für NSP
- kein Einfluss für Cellulose

Zugleich reduzierte die Fermentation den Gehalt von Trockenmasse, organischer Substanz und Protein bei der Gersten-, aber nicht bei der Weizenration und zeigte damit substratspezifische Effekte. Ebenfalls bei einer Getreidefermentierung wiesen LYBERG u. a. (2006) einen signifikanten Anstieg in der Dünndarmverdaulichkeit für die organische Substanz, den Stickstoffgehalt und die Mehrzahl der essentiellen sowie semiessentiellen Aminosäuren gegenüber der nichtfermentierten Ration nach. Aus der weiteren Einbeziehung von Mengen- und Spurenelementen gingen nur höhere Verdaulichkeiten für Phosphor (P) und Calcium (Ca) hervor.

Insbesondere die Frage des Fermentationseinflusses auf die P-Verdauung war Gegenstand weiterer Untersuchungen. Phosphor muss den Schweinerationen zur Bedarfsdeckung aus mineralischen P-Quellen ergänzt werden, weil mit den pflanzlichen Futterkomponenten bereitgestellter P nur teilweise verdaut werden kann. Durch die Bindung an Phytinsäure (= Hexaphosphorsäureester des Inosits,  $[IP_6]$ ) und das Fehlen von Phytat-spaltenden Enzymen kann der Phytat-P beim Schwein nur durch die in den Pflanzen differenziert verfügbaren Phytasen anteilig erschlossen werden. Der bakteriell bedingte P-Aufschluss im Magen und Dünndarm ist beim Schwein im Vergleich zur bakteriellen Vormagenaktivität beim Wiederkäuer wesentlich geringer. So liegt die P-Verdaulichkeit für Gerste bei 45 %, für Weizen bei 65 % aber für Mais nur bei 15 % (JEROCH u. a., 1993; KIRCHGEßNER u. a., 2008; DLG-Information 1/1999). Nach BLAABJERG u. a. (2010) führte der Fermentationsprozess bei einer Weizen/Gerste-Grundration in Kombination mit dem Einsatz von mikrobieller Phytase zu einem höheren Anstieg in der P-Verdaulichkeit gegenüber dem Phytaseeinsatz bei einer entsprechenden Trockenmischung, da ein vollständiger Abbau des als  $IP_6$  gebundenen P bereits vor Verfütterung festzustellen war. Die ebenfalls ermittelte erhöhte Ca-Verdaulichkeit könnte jedoch aus einer verstärkten Ca-Resorption resultieren, die ihrerseits durch die erhöhte P-Freisetzung regulatorisch bedingt ist. Als Schlussfolgerung aus den Ergebnissen zur P-Verdaulichkeit leiten die Autoren ab, dass es mit der Fermentation flüssiger, durch Phytase ergänzter Futterrationen möglich ist, ausreichend verdaulichen P zur Bedarfsdeckung beim Schwein verfügbar zu machen und so auf die Zugabe von anorganischen P zu verzichten. Auch von NITRAYOVA u. a. (2009) wurde eine verbesserte P-Verdaulichkeit bei fermentierten und mit Phytase ergänzten Rationen festgestellt. Neben der Senkung der P-Ausscheidung im Kot um 20 – 40 % konnten die Untersucher aufzeigen, dass gegenüber einer entsprechenden Trockenfutterration bereits ein abgesenkter Phytasezusatz

(1000 Einheiten vs. 3000 Einheiten/kg Trockenfutter) zur adäquaten P-Verdaulichkeit führte. Die Ursachen für den verstärkten Phytatabbau in Fermenterrationen beruhen ihrer Auffassung nach auf der MSB-bedingten Säuerung des Futterbreies und der Fermentationsdauer. Da das in den Futtermitteln enthaltene Phytat überwiegend als Magnesium-Phytat-Komplex vorliegt und dieser erst bei pH-Werten unter 5 besser löslich wird (SELLE u. RAVINDRAN, 2008), bietet der Fermentationsprozess eine günstige Voraussetzung für den enzymatischen P-Aufschluss.

Die bessere Verwertung des Rohproteins durch den Aufschluss über die MSB wird einerseits mit dunklerer Kotfarbe und andererseits mit einer höheren tierischen Leistung in Verbindung gebracht (HENDRIX ILLESCH, 2008; STRACKE, 2010; PECHER, 2010). Den in Verdauungsversuchen nachgewiesenen positiven Einflüssen der FFF auf die Rohprotein- bzw. Aminosäureverdaulichkeit (SCHOLLY u. a., 2011) stehen andere Untersuchungen gegenüber, in denen keine derartigen Effekte ermittelt wurden (NITRAYOVA u. a., 2009). Von Bedeutung dazu sind die Ausführungen von BROOKS (2009), der eine Verbesserung in der Proteinverdaulichkeit um 3 – 8 % anführt, aber auch darauf verweist, dass der Ration zugesetztes synthetisches Lysin bereits während der Fermentation abgebaut werden kann und so dem Tier nicht zur Verfügung steht. Dieser Abbau wäre für natürlich proteingebundenes Lysin nicht zu verzeichnen und im Falle von synthetischem Lysin abhängig von den verwendeten MSB-Kulturen. So konnte beim Zusatz von *Pediococcus acidilactici* der Abbau vermieden werden.

Hinsichtlich einer möglichen Nutzung der verbesserten Proteinverdaulichkeit bei fermentierten Rationen empfiehlt STALLJOHANN (2007) für fermentierte Getreide/Sojaextraktionsschrotmischungen die Absenkung des Rohproteingehaltes um 1 Prozentpunkt. Bei der Fermentation von Fertigfutter könnte der Einspareffekt mit 1,5 % noch etwas höher liegen, aber diese Orientierungswerte wären für hiesige Praxisbedingungen durch Exaktversuche noch zu bestätigen. In einer Betriebsreportage aus einem mitteldeutschen Unternehmen wird von einer Reduzierung des Rohproteingehaltes im flüssig fermentierten Ferkelaufzuchtfutter um 2,5 % berichtet, da von einem Anstieg der Eiweißverdaulichkeit von 80 auf 100 % ausgegangen wird (Anonym, 2009).

### 3.2 Einfluss auf die Tiergesundheit

Die Wirkung der Futtermittel auf die Gesundheit von Schweinen wird durch gastrointestinale Prozesse, welche Auswirkungen auf Infektionen des Verdauungstrakts haben, begründet (KAMPHUES, 2010). Diesbezüglich nehmen die MSB eine wichtige Stellung ein. Bekannt ist, dass bestimmte MSB bei kontinuierlicher Aufnahme probiotische Effekte auslösen. Dabei hemmen sie durch ihr Wachstum und Anheften an der Schleimhaut die Vermehrung potentiell krankmachender Keime, indem sie die Bindungsstellen des Darmepithels besetzen oder in der Schleimschicht einen wirksamen Biofilm als Infektionsbarriere aufbauen. Zugleich hemmt die gebildete Milchsäure die Schadkeimentwicklung (KIRCHGESSNER u. a., 2008).

Diese mit einem Probiotikaeinsatz verbundenen Effekte lassen sich prinzipiell auch nach der Verfütterung von fermentierten Komponenten/Mischungen erwarten. So stellten WINSEN u. a. (2001) signifikante Unterschiede in der bakteriellen Besiedlung des Magen-Darm-Trakts bei Jungschweinen fest, die mit fermentiertem Futter gefüttert und gleichaltrigen Tieren mit Trockenfütterung gegenübergestellt wurden. Nach Fermentfuttereinsatz konnte ein reduzierter Besatz an Enterobakterien in den verschiedenen Teilen des Magen-Darm-Trakts nachgewiesen werden. Auch von CANI-

BE u. JENSEN (2003) wurde in ähnlich konzipierten Untersuchungen ermittelt, dass beim Einsatz von FFF im Magen-Darm-Trakt die Anzahl der unerwünschten Enterobakterien deutlich niedriger als beim herkömmlichen Flüssigfuttoreinsatz oder bei Trockenfutter lag. Demgegenüber war der Besatz mit Hefen speziell im Magen nach Futterfermentierung höher, wobei die Versuchsansteller auf die noch ungeklärte Rolle dieser Keime im Verdauungstrakt verwiesen.

Die große Familie der Enterobacteriaceae untergliedert sich in über 30 Gattungen. Mehrheitlich sind sie Teil der gesunden Darmflora, einige Gattungen dagegen krankmachend. Aus veterinärmedizinischer Sicht betrifft dies insbesondere die *Escherichia coli* (*E. coli*), die Salmonellen, die Yersinien und die Enterobacter. Oftmals wird in der Bewertung der Tiergesundheitseffekte zur Erregerklassifizierung der Begriff der coliformen Keime verwendet. Diese taxonomisch nicht einheitliche Gruppe setzt sich aus einigen Gattungen der Enterobakterien mit Schwerpunkt *E. coli* und Enterobacter zusammen. Ihr charakteristisches Merkmal ist die Laktoseaufspaltung bei 30 bis 37°C. Zugleich können sie Rohprotein abbauen, wobei für das Darmepithel schädliche Verbindungen wie toxische Amine und Ammoniak entstehen (SCHOLTEN u. a., 2001).

Durch BROOKS (2009) werden die Einflüsse auf die bakterielle Magen-Darm-besiedlung noch konkreter gefasst. So lassen sich durch den Einsatz von erfolgreich fermentiertem Futter, d. h. bei hoher Lactatbildung, Salmonellen, *E. coli* und auch Lawsonien (Erreger der Ileitis, syn. PIA) beseitigen und damit die Tiergesundheit verbessern.

Hinsichtlich der Wirkungsweise der fermentierten Futter ist neben einer dem Probiotikaeffekt entsprechenden Beeinflussung der Darmmikroflora aber auch auf die antibakterielle Wirkung der Absenkung des pH-Wertes im Magen-Darm-Trakt zu verweisen (SCHOLTEN u. a., 2002; AMEZCUA u. a., 2007). Deshalb sieht SCHOLTEN (2011) einen wichtigen Vorteil der FFF in der Verbesserung der Darmgesundheit, die mit der Senkung des Antibiotikaeinsatzes und der Totalverluste verbunden ist. Auf einen Rückgang bei den Durchfallerkrankungen und den Tierverlusten wird auch in Berichten aus Anwenderbetrieben der Futterfermentierung verwiesen (NIGGEMEYER, 2002; JENSEN, 2006; ANONYM, 2009).

Die tiergesundheitslichen Effekte werden in den Ausführungen von Fa. LINBEC (2011) dabei noch weiter gefasst, da durch die Fütterung fermentierter Rationen die Stallluft eine niedrigere Kohlendioxidkonzentration sowie geringere Mengen von Ammoniak- und Schwefelverbindungen aufweist.

### **3.3 Tierische Leistungen**

Eine Vergleichbarkeit zum Produktionseinfluss der FFF auf Grundlage der verfügbaren noch geringen Anzahl an Beiträgen ist auch durch die abweichenden Einflussgrößen zwischen den Untersuchungen bzw. Praxisanwendungen (Futterkomponenten, Höhe des MSB-Besatzes im Ausgangssubstrat, Fermentationsdauer und –temperatur) kaum möglich. Zum Überblick werden dennoch die Ergebnisse angeführt, um verfahrensbedingte Schwerpunkte zu erfassen

Von NIGGEMEYER (2006) wird aufgeführt, dass bei der Sauenfütterung mit fermentiertem Getreide am Beispiel eines dänischen Betriebes geringere Gewichtsverluste bei den Sauen in der Säugezeit und höheren Absetzgewichten der Ferkel zu verzeichnen sind. Auch die Sauenverluste gingen zurück. Daraus wird auf eine bessere Verwertung des aufgeschlossenen Futters gegenüber konventioneller Trockenfütte-

rung geschlussfolgert und außerdem auf die Einsparung des Probiotikazusatzes in der Sauenration hingewiesen.

Wiederum NIGGEMEYER (2006) berichtet am Beispiel eines dänischen Ferkelaufzuchtbetriebes von einer verbesserten Tageszunahme beim Einsatz fermentierter Futtermischungen um 25 g bei bereits hohem Ausgangsniveau von nahezu 500 g. Nach SCHOLTEN (2001) führte die Fermentation der Weizenkomponente eines Ferkelaufzuchtfutters ausgehend vom natürlichen Mikrobenbesatz zwar zu keiner wesentlichen Zunahmesteigerung aber zu einem signifikant besseren Futteraufwand gegenüber der Verfütterung von nicht vergärem Weizenzusatz. Auch für die Mastschweineproduktion wurden höhere Masttagszunahmen nach Einsatz fermentierter Futtermischungen nachgewiesen (SCHMIDT, 2010; Anonym, 2010; Anonym, 2011). PECHER (2011) rechnet beim Einsatz von fermentierten Futtermischungen mit einer höheren Futteraufnahme. Dies wird mit einer besseren Schmackhaftigkeit begründet. Diese Effekte des Fermentateinsatzes könnten primär aber auch aus den voranstehend angeführten positiven tiergesundheitslichen Einflüssen resultieren.

Jedoch nicht alle Untersuchungen lassen einen so günstigen Einfluss der FFF erkennen (CANIBE u. JENSEN, 2003; AMEZCUA u. a., 2007), wobei versuchsspezifische Details die Bewertung teilweise einschränken.

BROOKS (2009) zeigt auf, dass der Einsatz fermentierter Futtermischungen nicht zwangsläufig eine höhere tierische Leistung bedingt, aber durch die Senkung der Futterkosten auch zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beitragen kann. Auch STALLJOHANN (2006) hebt die deutlich bessere Verfügbarkeit der Nährstoffe aus dem Futtersubstrat und dadurch Einsparungen bei Zusatzstoffen (Phosphor, Rohprotein) sowie die positiven Effekte auf die Tiergesundheit hervor.

Letztlich berichtet SCHMIDT (2010) von einer verbesserten Homogenität des mit Fermentat versetzten Fließfutters. Dies ermöglicht gegenüber flüssig verfütterten Getreide-Soja-Rationen höhere Trockensubstanzgehalte und verzögert die ansonsten schnell eintretende Entmischung im Futtertrog nach dessen Befüllung.

## **4 Stand bei der praktischen Umsetzung**

### **4.1 Regional und überregional**

In Thüringen arbeiten nach Autorenrecherche im Jahr 2010 drei Betriebe mit eigenen Fermentierungsanlagen. Neben einem Betrieb mit Sauenhaltung betrifft dies zwei Schweinemastbestände. Dabei beziehen zwei dieser Unternehmen ein Vorfermentat (beimpfte Futterkomponenten) und setzen dieses Startersubstrat entweder unmittelbar der Futtermischung zu oder schalten einen Zwischenschritt zur MSB-Vermehrung ein. Im dritten Unternehmen werden lediglich die MSB-Kulturen bezogen und mittels einer kompletten Fermentierungsanlage einschließlich vorgeschalteter thermischer Futterhygienisierung das Futter aufgeschlossen. Als Rationskomponenten kommen neben Getreide betrieblich differenziert, verschiedene Nebenprodukte zum Einsatz.

Auch in den anderen ostdeutschen Bundesländern wenden bisher nur einzelne Schweineproduzenten die Futterfermentierung an. Nahezu ausschließlich erfolgt dabei der Bezug einer als Startermischung dienenden beimpften Einzelkomponente (Molke) oder bereits fermentierter Futtermischungen. Am Markt agieren die Unternehmen Fa. Hendrix-Illsch, Fa. Schaumann, Fa. Linbec. Ähnlich wie hier liegen auch für die westdeutschen Bundesländer keine Angaben zum Anwendungsumfang

der FFF vor. Aus den Ausführungen von STALLJOHANN (2006) ist jedoch abzuleiten, dass sich insbesondere Mastbetriebe für diese Variante der Futteraufbereitung interessieren, wobei die Fermentation der Getreidefraktion im Vordergrund steht.

Ihren Ausgangspunkt hatte die FFF in Dänemark. Verfahrensmethodisch wurde dabei mit der natürlichen (unkontrollierten) Fermentation der Futtermischungen gearbeitet. Nach anfänglicher Euphorie in den Jahren um 2000 stellten jedoch zahlreiche Anwender ihre Futterfermentation wieder ein (NIGGEMEYER, 2006). Heute wird in Dänemark mehrheitlich das Prinzip der kontrollierten Fermentation mit dem Einsatz von fermentierter Molke als Starterkultur angewendet, die der betrieblichen Futterration zugesetzt wird.

Niederländische Unternehmen arbeiten vorwiegend mit vorfermentierten Mischungen, die in betriebliche Futtermischungen eingemischt werden. Auch fertige fermentierte Futterrationen zum sofortigen Einsatz werden von der niederländischen Futtermittelindustrie angeboten.

## **4.2 Prozessabläufe**

Die Einbindung der Fermentierung in den technologischen Ablauf der Flüssigfütterung beinhaltet den zusätzlichen Einbau eines wärmeisolierten Fermenters mit integriertem Rührwerk und eines ebenfalls wärmeisolierten Wasservorratsbehälters einschließlich der erforderlichen Leitungsverbindungen. In Abhängigkeit vom Fermentierungsverfahren wird bei Fremdbeimpfung des Futters weiterhin eine Dosiereinheit für die zugeführten MSB erforderlich. Ausgehend von STALLJOHANN (2006) ergibt sich der in der Abbildung 2 ausgewiesene Prozessablauf. Er basiert auf einem kontinuierlichen Fermentierungsprozess, bei dem stets eine Restmenge von 25 bis 50 % fermentierten Futters zur Beimpfung und Beschleunigung des Gärprozesses im Fermenter verbleibt. Evident wird weiterhin, dass entsprechend seinen Bewirtschaftungsempfehlungen vorrangig die gemahlene Getreidefraktion in den Fermenter geleitet wird und die entsprechenden Ergänzungsfutter der fermentierten Teilration erst unmittelbar vor Verfütterung im Futtermischer zugeteilt werden. Mit dem wärmeisolierten Wasservorrattank wird auf die Temperaturabhängigkeit des Fermentationsprozesses reagiert, um so auch im Winterhalbjahr eine für die mikrobiologische Aktivität ausreichende Substrattemperatur zu gewährleisten.

Die Kontinuität eines solchen jedoch unkontrollierten Fermentationsprozesses wird entscheidend durch den Keimbesatz im Ausgangssubstrat beeinflusst. Deshalb müssen auch hohe Anforderungen an die mikrobiologische Beschaffenheit der eingesetzten Futtermittel gestellt werden. Dies ist für Trockenfutterkomponenten besser als für Futtermittel mit höheren Feuchtegehalten möglich. Letztere sind in der Regel Verarbeitungsnebenprodukte wie Molke, Kartoffeldampfschalen, Treber oder Altbrot. Beim Einsatz derartiger futterhygienisch risikoreicheren Komponenten empfiehlt SCHMIDT (2010) eine thermische Hygienisierung der Fermentation vorzuschalten, um damit den unerwünschten Schadkeimbesatz abzutöten. Da diese Hygienisierung jedoch auch die zur Fermentation erforderlichen MSB zerstört, macht sich als Konsequenz eine gezielte Beimpfung des zu fermentierenden Futterbreies mit MSB erforderlich. Zur technischen Umsetzung führt er dazu eine Verfahrensskizze als auch die praktische technologische Umsetzung unter Einbeziehung der Abwärmenutzung aus der Biogaserzeugung an. Bei diesem Verfahrensschritt kann es bedingt durch die Futtermittelerhitzung zur Proteinschädigung (Maillard-Reaktion) kommen. Dabei wird die Proteinverdaulichkeit durch eine nichtenzymatische Reaktion von freien Aminogruppen der Aminosäuren (insbesondere bei Lysin und Arginin) mit reduzierten Zuckern



zu nicht spaltbaren Verbindungen herabgesetzt (KIRCHGESSNER u. a., 2008). Verfahrenstechnisch muss deshalb ein schneller Durchsatz und die Einhaltung einer Temperaturobergrenze nach SCHMIDT (2010) von 75° C abgesichert werden.

Hinsichtlich der Verweildauer der Futtermischung im Fermenter lassen sich aus den Praxisangaben keine fachlich fundierten Empfehlungen ableiten. Sowohl bei STALLJOHANN (2006) als auch SCHMIDT (2010) erfolgt eine kontinuierliche Bewirtschaftungsweise. Dabei wird das verfütterte Fermentat unmittelbar nach Entnahmeabschluss durch neu zu fermentierendes Substrat ersetzt, dass sich mit dem noch verbliebenen Fermentat vermischt, so dass der Umsetzungsprozess kontinuierlich abläuft. Angaben zur diskontinuierlichen Verfahrensweise mit mehreren Fermentern liegen nicht vor.

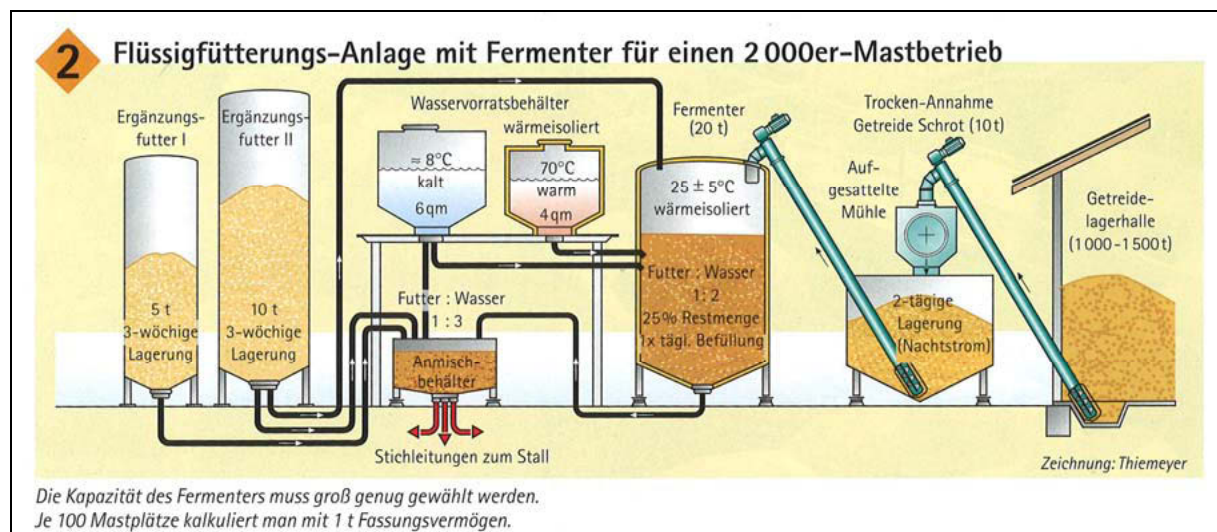


Abbildung 2: Technologischer Ablaufplan zur Flüssigfütterung mit integrierter Getreidefermentation (STALLJOHANN, 2006)

### 4.3 Wirtschaftliche Verfahrensbewertung

Von STALLJOHANN (2007) werden als Investitionskosten für die technische Umsetzung bei einem zehnjährigen Abschreibungszeitraum 0,80 bis 1,00 €/ Schwein angeführt. Die im Einzelfall noch erforderliche Brennstoffbereitstellung (Heizöl) zur Warmwasseraufbereitung würde zusätzlich etwa den gleichen Kostenanteil ausmachen, so dass in diesem Falle mit insgesamt 1,60 bis 2,00 €/ Mastschwein zu kalkulieren wären. Auch andere Autoren (Anonym, 2011) bezeichnen die Anfangsinvestitionen als vergleichsweise hoch, ohne nähere Angaben. In einer weiteren Betriebsreportage (ANONYM, 2010) werden Investitionskosten von 1,38 € pro Mastschwein angeführt, dem ein Mehrerlös von 9,33 € pro Mastplatz und Jahr (bei 2,5 Umtrieben = 3,73 €/Mastschwein) gegenübergestellt wird. Diese Angabe erscheint allerdings sehr optimistisch kalkuliert.

Als wirtschaftlich untersetzte Effekte der FFF lassen sich zusammenfassend aus den vorliegenden Veröffentlichungen bezugnehmend auf die Schweinemast anführen:

- Einsparung des Futtersäurezusatzes (ca. 0,55 €/ Mastschwein, STALLJOHANN, 2006)
- Einsparung mineralischer Phosphorgabe (Bewertung nicht möglich, da bisher keine Klarheit über mögliche Mengenreduzierung)

- Einsparung Enzymzusatz (ca. 0,25 €/ Mastschwein, STALLJOHANN ( 2007)- aber im Falle des Phytasezusatzes fachlich nicht geklärt)
- Reduzierung der Proteinausstattung im Futter (1 %, STALLJOHANN (2007) entspricht bei aktuellen Sojapreisen 0,45 €/dt bzw. 1,26 €/Mastschwein)
- Verbesserung Salmonellenstatus (Bestandsbezug, Absicherung Q&S-Kriterium für Liefersicherheit)
- Verbesserung des Tiergesundheitsstatus insbesondere Magen-Darm-Erkrankungen, Verlustsenkung (Bestandsbezug, nicht kalkulierbar)
- Reduzierung Medikamenten-(Antibiotika)aufwand (Bestandsbezug, nicht kalkulierbar)
- Erzielung einheitlicherer Schlachtpartien, damit Reduzierung Schlachtpreisabzüge (Bestandsbezug, nicht kalkulierbar)
- Reduzierung Futteraufwand (beim derzeitigen Kenntnisstand nicht quantifizierbar)
- Verbesserung der Flüssigfutterhomogenität, damit geringere Entmischung und höhere Trockensubstanzgehalte

Nach Berechnungen von STALLJOHANN (2007) würden folgende Leistungseffekte ausreichen, um die anfallenden Kosten aus der Errichtung einer Fermentierungseinheit in der Schweinemast auszugleichen:

- + 30 g Tageszunahmen
- 8-10 % niedrigerer Futterverbrauch/kg Zuwachs
- 1,2 % Tierverlustsenkung.

Die bisherigen Aufwandsberechnungen basierten auf der Errichtung einer betrieblichen Fermentierungsanlage. Mittlerweile bieten Futterunternehmen auch in Ostdeutschland vorfermentiertes Futter zur Zumischung für die betrieblichen Rationen an (Anonym, 2009; LEISINK, 2011). Für einen Einsatz derartig fermentierten Futters liegen bisher keine öffentlich zugänglichen Effektivitätsbewertungen vor.

## 5. Zusammenfassung

Ausgehend von den Entwicklungstendenzen im internationalen und nationalen Landwirtschaftssektor nimmt der Einfluss der Futterkosten auf die Wirtschaftlichkeit der Schweineproduktion noch weiter zu. Dementsprechend gewinnen Maßnahmen zur Verbesserung der Nährstoffverwertung und verstärkten Nutzung von Nebenprodukten der Lebensmittelherstellung auch aus umweltstrategischer Sicht immer mehr an Bedeutung. In diesen Komplex lässt sich die Fermentation von Schweinefutter einordnen, die mittlerweile schon in einzelnen Unternehmen praktiziert wird. Das nur bei der Flüssigfütterung einsetzbare Aufschlussverfahren beruht auf der Wirkung von Milchsäurebakterien, die zeit- und temperaturabhängig einen Nährstoffabbau bewirken und durch die angestrebte hohe Milchsäurebildung den pH-Wert im Futter senken. Im Ergebnis von wissenschaftlichen Untersuchungen und von Erfahrungen aus der praktischen Anwendung werden zur Fermentation eine Reihe von positiven Wir-

kungen auf die Produktionsleistung, die Tiergesundheit, die Futterhygiene und die Futterkostenreduzierung angeführt. Diesen Effekten steht jedoch ein nicht unbe-trächtlicher technischer Ausrüstungsaufwand gegenüber. Zugleich basieren die aus ihrer Anwendung zu erzielenden Einsparungseffekte von Nähr- bzw. Mineralstoffen eher auf empirischen als fachlich fundierten Erkenntnissen und ermöglichen so keine gesicherte Nährstoffabsenkung. In der Bewirtschaftungsweise ist zwischen einer kontinuierlichen, d. h. nach Teilentnahme der fermentierten Futtermischung wieder Zugabe neuer Komponenten, und einer diskontinuierlichen Fermenterbewirtschaftung und damit dem Aufstellen von mindestens zwei Fermentern zu unterscheiden. Dies führt jedoch zu beträchtlichen Differenzen im Investitionsvolumen. Nach dem hier analysierten Kenntnisstand erscheint eine durch den lediglich substratbezogenen mikrobiellen Besatz ausgelöste (unkontrollierte) Fermentation nicht geeignet zu sein, um sichere und damit kontinuierlich wiederholbare Aufschlusseffekte als Grundlage für eine gezielte Nährstoffeinsparung zu ermöglichen. Für einen kontrolliert ablaufenden Fermentationsprozess muss jedoch auch ein ausreichender Kenntnisstand zum Einsatz der dabei am effektivsten wirkenden MSB-Gattungen/-Stämme vorliegen, den es derzeit, wenigstens öffentlich zugänglich, nicht gibt.

Letztlich ist die Schweinefutterfermentation ein fütterungsstrategisch interessantes und auch praktikables Aufschlussverfahren, bei dem jedoch hinsichtlich des fachlichen Kenntnisstandes und der ökonomischen Bewertung noch zahlreiche Unklarheiten bestehen.

## **6. Schlussfolgerungen zur thematischen Bearbeitung**

Bei fachlicher Bestätigung der für die Fermentation von flüssigem Schweinefutter aufgezeigten Effekte sowie einer erfolgreichen verfahrenstechnischen und wirtschaftlich Umsetzung kann mit diesem Verfahren ein wichtiger Beitrag zur Erfüllung folgender strategischer Zielstellungen der Landwirtschaft:

- Reduzierung Rohstoffeinsatz (anorganischer Phosphor, Proteinträger)
- Reduzierung umweltbelastender Abprodukte (Phosphor, Stickstoff)
- Senkung Antibiotikaaufwand (Verbesserung Darmgesundheit)

verwirklicht werden.

Aus der vorliegenden Analyse der internationalen Literatur und den Informationen von Anwenderbetrieben zur Schweinefutterfermentierung ergeben sich folgende offene bzw. bisher fachlich widersprüchlich beantwortete Fragestellungen, die in Hinblick auf die Verfahrensanwendung eine weitere Abklärung und damit thematische Bearbeitung erforderlich machen:

- Auswahl geeigneter Gattungen/ Stämme von homofermentativen Milchsäurebakterien zur Absicherung einer schnellen und deutlichen pH-Wert-Absenkung. Ergänzend dazu rechtliche Abklärung hinsichtlich Einsatzzulassung
- Ermittlung der günstigsten Fermentationstemperatur in Verbindung mit der erforderlichen Fermentationsdauer und Substratspezifität
- Erfassung des Keimbesatzes verschiedener Futtermittel und dessen Veränderungen bei der Lagerung über einen Einjahresabschnitt zur Abklärung der mikrobiologischen Voraussetzungen für eine unkontrollierte Fermentation

- Abklärung des Einflusses der Fermentierung auf die Phosphor-Verdaulichkeit mit bzw. ohne Zugabe von Phytase
- Abklärung des Einflusses der Fermentierung auf Veränderungen in der Protein-Verdaulichkeit für typische Mastrationen zur Fixierung des Einspareffektes
- Ermittlung des technischen und kostenseitigen Investitionsaufwandes und der Betriebskosten für bereits errichtete betriebliche Fermentierungsanlagen
- Abklärung des Einflusses der Fermentierung auf die Verdaulichkeit von Rationen mit hohen Anteilen an Nicht-Stärke-Polysacchariden zwecks verstärkter Nutzung kostengünstiger Nebenprodukte

## 7. Literaturverzeichnis

Adler, Andreas (2002): Qualität von Futterkonserven und mikrobielle Kontamination. 8. alpenländische Expertenforum, Tagungsband S.17 - 25

Amezcu, M. d. R.; Friendship R.; Dewey C.; Weese, J. S.; de Lange, C.; Reid, G. (2007): Effects on growth performance, feed efficiency, and health of weanling pigs fed fermented liquid whey inoculated with lactic acid bacteria that inhibit *Escherichia coli* in vitro. *Journal of Swine Health and Production* Ausgabe November-Dezember, S. 320 – 329

Anonym (2009): Fermentierung spart Futterkosten. Hendrix Illesch GmbH, Futterpost Schwein Ausgabe 1, S. 4-5

Anonym (2010): Innovatives Verfahren für innovative Unternehmer. Hendrix Illesch GmbH, Futterpost Schwein Ausgabe 2, S. 6-7

Anonym (2011): Mehr Erfolg in der Mast mit Fermentation. Hendrix Illesch GmbH Futterpost Schwein Ausgabe 1, S. 4-6

Bach Knudsen, K. E. (2011): Effects of polymeric carbohydrates on growth and development in pigs. *J. Anim. Sci.* 89, S. 1965-1980

Brooks, P. (2009): Fermented liquid feed für pigs. [www.pig333.com/nutrition/pig\\_article/378](http://www.pig333.com/nutrition/pig_article/378), (08.09.2011)

Blaabjerg, K.; Jørgensen, H.; Tauson, A.-H.; Poulsen, H.D. (2010): Heat-treatment, phytase and fermented liquid feeding affect the presence of inositol phosphates in ileal digesta and phosphorus digestibility in pigs fed a wheat and barley diet. *Animal* 4:6, S. 876 – 885

Blaicher, G.; Klimitsch, A. (2005): Fermentative Futterbehandlung mit probiotischen Keimen, Diplomarbeit Biomin GmbH Herzogenburg

Bucher, E.; Thalmann, A. (2006): Mikrobiologische Untersuchungen von Futtermitteln - Orientierungswerte zur Beurteilung der Unverdorbenheit. *FEED-Magazin/Kraftfutter* Ausgabe 6, S. 16-23

Canibe, N.; Jensen, B.B. (2003): Fermented and nonfermented liquid feed to growing pigs: Effect on aspects of gastrointestinal ecology and growth performance. *J. Anim. Sci.* 81, S. 2019-2031

Canibe, N., Højberg, O.; Badsberg, J. H.; Jensen, B. B. (2007): Effect of feeding fermented liquid feed and fermented grain on gastrointestinal ecology and growth performance in piglets. *J. Anim. Sci.* 85, S. 2959-2971

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (2009): [www.dbu.de/projekt\\_16865/\\_db\\_1036.html](http://www.dbu.de/projekt_16865/_db_1036.html)

DLG (1999): Schweinefütterung auf der Basis des verdaulichen Phosphors. DLG-Information 1/1999, DLG-Verlag Frankfurt am Main

Fritzsche, W. (2011): persönliche Mitteilung

Giardini, A.; Vigezzi, P. (2005): Vielseitige Milchsäurebakterien. FEED Magazin/ Kraftfutter Ausgabe 7 - 8, S. 20 – 28

Hendrix Illisch (2008) In: „Fermentierung - eine Art Konservierung“. [www.hendrixillesch.de/schweine/produktedienstleistungen/fermentierung.html](http://www.hendrixillesch.de/schweine/produktedienstleistungen/fermentierung.html) (8.April 2008)

Jeroch, H.; Flachowski, G.; Weißbach, F. (1993): Futtermittelkunde. Gustav Fischer Verlag Jena/ Stuttgart

Jeroch, H.; Drochner, W.; Simon, O. (1999): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 2. Auflage

Kamphues, J. (2010): Charakterisierung und Bedeutung der „Struktur“ im Schweinefutter. Fachtagung Deutsche Vilomix Tierernährung GmbH

Kirchgeßner, M.; Roth, F. X.; Schwarz, F. J.; Stangl, G. I. (2008)): Tierernährung. DLG-Verlags-GmbH Frankfurt am Main, 12. Auflage

Knabe, O.; Fechner, M.; Weise, G. (1986): Verfahren der Silageproduktion. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin

Kramer, E.; Pecher, H.-P., (2011): Fermentierung von Schweinefutter. Vortragsmanuskript Schaumann – Beratertagung, 5.5.2011 Alsfeld

Leisink, B. (2011): persönliche Mitteilung

Lindermayer, H.; Propstmeier, G. (2009). Futterberechnungen für Schweine. Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft Freising-Weihenstephan, 17. Auflage

Linbec (2011): [www.linbec.de/produkte/landwirtschaft/Flüssigfutterfermentation](http://www.linbec.de/produkte/landwirtschaft/Flüssigfutterfermentation). (06.09.2011)

Lyberg, K.; Lundh, T.; Pedersen, C.; Lindberg, J. E. (2006): Influence of soaking, fermentation and phytase supplementation on nutrient digestibility in pigs offered a grower diet based on wheat and barley. Animal Science 82, S. 853-858

Lyberg, K.; Olstorpe, M.; Passoth, V.; Schnürer, J.; Lindberg, J. E. (2008): Biochemical and microbiological properties of a cereal mix fermented with whey, wet wheat distillers` grain or water at different temperatures. Animal Feed Science and Technology 144, S. 137-148

Meyer, E. (2009). Flüssigfutterproben richtig ziehen. Schweinezucht und Schweinemast Ausgabe 1, S. 62-65

Nagel, M. (2001): Stimmt die Qualität bei ihren Futtermitteln? dlz Ausgabe 11, S. 122-124

Nagel, M. (2004): Hygiene in Flüssigfütterungsanlagen. Vortrag Fachtagung Deutsche Vilomix Tierernährung GmbH

Nche, P. F.; Nout, M.J.R.; Rombouts, F.M. (1994): Gas production by *Clostridium perfringens* as a measure of the fermentability of carbohydrates and processed cereal-legume foods. *Food Microbiol.* 11, S. 21-29, zit. nach Scholten, 2001

Niggemeyer, H. (2002): Fermentiertes Getreide – gesunde Schweine? *top agrar* Ausgabe 11, S. Schweineteil 30- 33

Niggemeyer, H. (2006): Fermentation: Was Praktiker sagen. *Schweinezucht und Schweinemast* Ausgabe 5, S. 56-59

Niggemeyer, H. (2010): So optimieren die Dänen die Futterverwertung. *Schweinezucht und Schweinemast* Ausgabe 5, S.78 – 79

Nitroyova, S.; Patras, P.; Brestensky, J.; Zelenka, J.; Broz, J.; Heger, J. (2009): Effect of microbial phytase and diet fermentation on ileal and total tract digestibility of nutrients and energy in growing pigs. *Czech. J. Anim. Sci.* 54 (4), S. 163-174

Niven, S. J.; Zhu, C.; Columbus, D.; Pluske, J. R.; de Lange, C. F. M. (2007): Impact of controlled fermentation and steeping of high moisture corn on its nutritional value for pigs. *Livestock Science* 109, S. 166-169

Partanen, K. H.; Mroz, Z. (1999): Organic acids for performance enhancement in pig diets. *Nutrition Research Reviews* 12, S. 117-145

Pecher,, H.-P. (2010): Schweinefutter fermentieren - Ein Verfahren für Experten. *Erfolg im Stall* Ausgabe 2, S. 6-7

Pecher, H.-P. (2011): Masterfolge sind kein Zufall. *Erfolg im Stall - Spezialausgabe Schweine* S.10-11

Pedersen, C., Stein, H.H. (2010): Effects of liquid and fermented liquid feeding on energy, dry matter, protein and phosphorous digestibility by growing pigs. *Livestock Science* 134, S. 59-61

Scholten, R. (2001): Fermentation of liquid diets for pigs. Diss. University Wageningen/ Netherlands, ISBN 90-5808-524-4

Scholten, R. H. J.; Rijnen, M. M. J. A.; Schrama, J. W.; Boer, H.; Vesseur, P. C.; Den Hartog, L. A.; van der Peet-Schwering, C. M. C.; Verstegen, M. W. A. (2001): Fermentation of liquid compound diets: Part 1. Effects on chemical composition during a 6-day storage period. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 85, S. 111-123

Scholten, R. (2011): Mit fermentiertem Futter zum Erfolg. *Hendrix Illesch GmbH, Futterpost Schweine* Ausgabe 1, S.8 - 9

Schmidt, M. (2010): Bau und Funktion einer Fermentationsanlage für die Schweinemast und daraus resultierende Ergebnisse der Mast- und Schlachtleistung in der Fle-sima GmbH Langenwetzendorf . Diplomarbeit Hochschule Anhalt (FH) Abteilung Bernburg, Fachbereich Landwirtschaft

Sholly, D. M.; Jørgensen, H.; Sutton, A. L.; Richert, B. T.; Bach Knudsen, K. E. (2010): Impact of fermentation of cereals on the degradation of polysaccharides and other macronutrients in the gastrointestinal tract of growing pigs. J. Anim. Sci. 89, S. 2891- 2900

Simon, O. (2006): Potentiale von Pro- und Präbiotika . Alternativen zu antibiotischen Leistungsförderern - Probiotika, Präbiotika, organische Säuren, phytogene Zusätze, Lanthanoide. Grosstierpraxis 6, S. 226 - 230

Sommer, W. (2003): Wie sinnvoll sind Silierzusätze bei CCM? RCG aktuell (3), S. 24

Stalljohann G. (2006): Mit Fermentgetreide zu gesünderen Schweinen. Schweinezucht und Schweinemast 5/2006, S.52 - 56

Stalljohann, G. (2007): Was bringt Fermentgetreide? Landwirtschaftliches Wochenblatt Westfalen-Lippe Ausgabe 1, S. 36 – 38

Stracke, R. (2010): Flüssig mit Fermentation. dlz primus Schwein Ausgabe 2, S. 8-12

Winsen, R.; Urlings, B.; Lipmann, L.; Snijders, J.; Kreuzenkamp, D.; Verheijden, J.; Knapen, F. (2001): Effect of fermented feed on the microbial population of gastrointestinal tracts of pigs. Applied and Environmental Microbiologie, S. 3071 – 3076